



TITLE:

Improvement of Experimental Data Accuracy for Neutron Capture Cross Section(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Lee, Jaehong

CITATION:

Lee, Jaehong. Improvement of Experimental Data Accuracy for Neutron Capture Cross Section. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-05-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21269>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-09-01に公開; 許諾条件により要旨は2018-06-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	李 在洪
論文題目	Improvement of Experimental Data Accuracy for Neutron Capture Cross Section (中性子捕獲断面積測定データの精度向上に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、核データの高精度化に資するために、従来の中性子捕獲断面積測定手法において見落とされていた系統誤差要因を明らかにするとともに、それらの系統誤差を低減するための解析手法を開発した研究の成果をまとめたものであり、以下の 7 章からなっている。</p> <p>第 1 章は緒言であり、特に中性子捕獲反応断面積に重点を置きながら、評価済核データの高精度化の必要性について述べている。中性子捕獲断面積データの評価法と実験施設の現状を解説し、それらを背景として、本論文で着目した系統誤差要因の抽出を行った。具体的には、中性子捕獲断面積測定における系統誤差要因として、試料の厚さ、中性子捕獲イールド、補正、標準断面積に関するそれぞれの項に対して誤差要因を抽出した上で、先行研究の進捗状況を考慮し、本論文では、中性子捕獲イールドに関わるバックグラウンド及び規格化因子の決定法と、試料中での中性子自己遮蔽・多重散乱効果に関する補正方法に着目して検討することとした。また、新たに開発した手法を中性子捕獲断面積測定に適用する対象核種として ^{151}Eu, ^{153}Eu を選定した理由についても述べている。</p> <p>第 2 章では、京都大学原子炉実験所（現、複合原子力科学研究所）の電子線型加速器（以下、京大炉ライナックという）における中性子捕獲断面積測定の現状と課題について、光中性子源の概要と中性子捕獲断面積測定の歴史的経緯に触れながら説明している。京大炉ライナックでは、一対の C_6D_6 有機液体シンチレーション検出器から成る全エネルギー検出器と、12 台の $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BG0) シンチレータから成る全吸収型検出器を用いた即発ガンマ線測定に中性子飛行時間法（TOF 法）を適用した中性子捕獲断面積測定が系統的に行われているが、本研究では、これらの検出器に固有の系統誤差要因について問題点を整理している。C_6D_6 検出器に対しては捕獲イールドの規格化を行うための波高重み法の適用、BG0 検出器に対してはバックグラウンドの決定法の検討を課題として挙げている。共通の誤差要因として、試料中での自己遮蔽・多重散乱の補正について従来の手法の問題点を整理している。</p> <p>第 3 章では、中性子捕獲イールドの決定法の高度化として、バックグラウンドの評価法及び中性子捕獲イールドの規格化についての成果をまとめている。従来の中性子捕獲断面積測定実験では評価できていなかったバックグラウンドについて、実験結果からバックグラウンドと試料の原子番号との相関性を見出し、モンテカルロ・シミュレーションによる数値計算を行うことによって、その原因が水モデレータ起因の 2.2MeV の捕獲ガンマ線の試料による散乱であることを明らかにするとともに、試料での散乱ガンマ線によるバックグラウンドを評価する汎用的な手法を確立した。さらに、京大炉ライナックに設置された C_6D_6 検出器に対する波高重み関数を開発し、中性子捕獲断面積の絶対値を導出することを可能にしている。</p> <p>第 4 章では、補正方法の高度化についてまとめている。試料中での中性子自己遮蔽・多重散乱効果に関する補正は、従来の研究では既存の評価済核データライブラリを用いたモンテカルロ・シミュレーション計算によって補正係数を導出するのが一般</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	李 在洪
<p>的であったが、本章では従来の補正方法について実験的な検証を行うとともに、補正に使用する核データに起因する系統誤差を低減するための新たな補正方法の開発を行った。はじめに、評価済核データライブラリの信頼性が高い ^{10}B 及び ^{197}Au に対して厚さの異なる試料を用いた実験を行うことによって、従来の補正法の妥当性を検証している。次に、補正に使用する核データの信頼性が十分高いとは言えない ^{232}Th について、厚さの異なる試料を用いた実験を行い、従来の方法で補正したところ、幾つかの共鳴については補正後の断面積に不一致が観測されることが示された。本章では不一致の原因が使用した核データの不確かさによるものと推定し、共鳴解析と組み合わせた新たな補正方法を提唱した。本手法を適用することによって厚さの異なる ^{232}Th 試料に対する補正係数が改善したことから、新たな補正手法の妥当性を明らかにした。</p> <p>第 5 章では、第 3 章及び第 4 章で述べた手法の適用例として、全エネルギー検出器である C_6D_6 検出器を用いた ^{151}Eu, ^{153}Eu の中性子捕獲断面積測定の結果を示している。特に C_6D_6 検出器については、波高重み法を適用することによって、中性子捕獲断面積の絶対値の導出に成功している。^{151}Eu については、約 0.03~0.2eV の領域で ENDF/B-VII.1 の評価値が JENDL-4.0, JEFF-3.2 の値を約 11~23%上回っていたが、実験値は JENDL-4.0, JEFF-3.2 の評価値を支持する結果を得た。^{153}Eu については、ENDF/B-VII.1 の熱中性子断面積が JENDL-4.0, JEFF-3.2 に比べて約 14%過大となっていたが、実験値は ENDF-B/VII.1 の評価値を支持する結果を得た。</p> <p>第 6 章では、第 3 章及び第 4 章で述べた手法の適用例として、全吸収型検出器である BGO 検出器を用いた ^{151}Eu, ^{153}Eu の中性子捕獲断面積測定の結果を示している。特に BGO 検出器については、バックグラウンド決定法の高度化によって、非分離共鳴領域における断面積の結果が大きく改善している。^{151}Eu については、3.36, 7.00, 7.22, 7.42eV 共鳴において評価値間に不一致が見られていたが、3.36eV 共鳴については ENDF-B/VII.1, JEFF-3.2 の評価値を支持し、JENDL-4.0 の評価値は約 1/2 倍過小評価されていることを示唆する結果を得た。7.00, 7.22, 7.42eV 共鳴についてはいずれの評価値とも異なる新たな結果が示された。また、4.78eV 共鳴については、いずれの評価値も約 1/2 倍過小評価であることを示唆する結果を得ている。^{153}Eu については、2.46, 3.29, 3.94eV の共鳴について、いずれの評価値も過大評価であることを示唆する結果となった。BGO 検出器を用いて得られた中性子捕獲断面積の結果を C_6D_6 検出器の結果と比較したところ、全エネルギー領域において一致しており、異なる検出器による結果に対して整合性が見られることから、本論文で開発した捕獲イールド決定法の高度化が適切に行われたことが検証された。さらに、共鳴解析と組み合わせた新たな補正法で使用した評価済断面積と補正後の断面積との間の残差を大幅に低減できたことも確認している。</p> <p>第 7 章では、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、核データの高精度化に資するために、従来の中性子捕獲断面積測定手法において見落とされていた系統誤差要因を明らかにするとともに、それらの系統誤差を低減するための解析手法を開発した研究の成果をまとめたものであって、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 一对の C_6D_6 検出器から成る全エネルギー検出器に対して、波高重み関数を開発し、捕獲イールドの規格化を行えるようにした。その結果、評価値間に不一致の見られた ^{151}Eu , ^{153}Eu の熱中性子断面積の絶対値を決定することに成功し、 ^{151}Eu については JENDL-4.0 及び JEFF-3.2 の評価値を支持する結果を得た。 ^{153}Eu については ENDF-B/VII.1 の評価値を支持する結果を得た。
2. 従来の研究では見落とされていたバックグラウンド成分が、水モデレータで発生した捕獲ガンマ線が試料で散乱されたことに起因することを実験と計算により明らかにし、そのバックグラウンド評価の汎用的な手法を確立することに成功した。その結果、BGO 検出器を用いた ^{151}Eu , ^{153}Eu の中性子捕獲断面積測定において、特に非分離共鳴領域の結果が大きく改善した。散乱ガンマ線の影響を受けにくい C_6D_6 検出器の結果との比較において両者の結果が良く一致したことにより、水モデレータ起因の散乱バックグラウンド評価の妥当性が検証された。
3. 試料中での中性子自己遮蔽・多重散乱に関する補正法の高度化を行った。補正に用いる断面積の信頼性が高い核種について、厚さの異なる試料を用いた測定によって補正法の妥当性の検証を行った。補正に用いる断面積の信頼性が十分高くない核種として ^{232}Th を例として補正法の検討を行ったところ、従来の補正法では使用する断面積の不確かさによって整合性の取れていない共鳴が観測されたが、共鳴解析と組み合わせた新たな補正法を提唱し、本解析に適用したところ、厚さの異なる試料に対する補正結果に改善が見られ、新たな補正法の妥当性が検証された。また、 ^{232}Th に対して 20~200eV のエネルギー領域の 10 個の共鳴に対して共鳴パラメータを取得した。
4. 12 台の BGO 検出器からなる全吸収型検出器を用いて ^{151}Eu , ^{153}Eu の中性子捕獲断面積測定を行った。本論文で開発したバックグラウンドの決定法、補正法の高度化を適用したところ、 ^{151}Eu については、3.36, 7.00, 7.22, 7.42eV 共鳴において評価値間に不一致が見られていたが、3.36eV 共鳴については ENDF-B/VII.1, JEFF-3.2 の評価値を支持し、JENDL-4.0 の評価値は約 1/2 倍過小評価されていることを示唆する結果を得た。また、7.00, 7.22, 7.42eV 共鳴についてはいずれの評価値とも異なる新たな結果を示した。さらに、4.78eV 共鳴については、いずれの評価値も約 1/2 倍過小評価であることを示唆する結果を得た。 ^{153}Eu については、2.46, 3.29,

氏 名	李 在洪
-----	------

3.94eV の共鳴について、いずれの評価値も過大評価であることを示唆する結果を得た。

以上、本論文は、様々な系統誤差要因を明らかにし、それらの解析法を開発すると同時に、高精度な核データが工学的に要求されている ^{151}Eu , ^{153}Eu , ^{232}Th に対して精度の高い中性子捕獲断面積、共鳴パラメータの導出に成功しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 4 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 2018年 6月 1日以降